

УДК 622.233/.235

Реготунов Андрей Сергеевич

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН,
620075 г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58;
e-mail: pochta8400@inbox.ru

Кутуев Вячеслав Александрович

научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: slavik1988@mail.ru

Жариков Сергей Николаевич

кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
заведующий лабораторией,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: 333vista@mail.ru

**СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ФАКТОРОВ,
ПРЕДОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПЕРЕХОДНЫЕ
ПРОЦЕССЫ В БУРОВЗРЫВНЫХ
РАБОТАХ****Аннотация:*

Представлены результаты анализа основных влияющих факторов внешней и внутренней среды, предопределяющих необходимость в осуществлении переходных процессов для адаптации к сложившимся условиям как всей системы «горное предприятие», так и отдельных ее подсистем. Анализ факторов выполнен для подсистемы «буровзрывные работы». Для научного решения обозначенной задачи применен новый методологический подход чл.-корр. РАН, проф., д.т.н. В.Л. Яковлева. На основе выполненного анализа получены и приведены результаты классификации и систематизации основных факторов, предопределяющих наступление переходных процессов в буровзрывных работах. Предлагаемый подход позволил выявить целостную картину основных взаимодействующих факторов в подсистеме «буровзрывные работы». Применение результатов систематизации основных факторов обеспечивает научную основу при планировании инновационного развития буровзрывных работ и позволяет спрогнозировать влияние на состояние подсистемы «буровзрывные работы» изменяющихся факторов внешней и внутренней среды, в том числе факторов, связанных с внедрением инноваций.

Ключевые слова: горное дело, переходные процессы, система, подсистема «буровзрывные работы», влияющие факторы, систематизация, буровзрывные работы, открытые горные работы, разрушение горных пород, параметры БВР, инновации.

DOI: 10.25635/2313-1586.2021.04.062

Regotunov Andrey S.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: pochta8400@inbox.ru

Kutuev Vyacheslav A.

Researcher,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: slavik1988@mail.ru

Zharikov Sergey N.

Candidate of Technical Sciences,
Leading Researcher,
Head of laboratory,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: 333vista@mail.ru

**SYSTEMATIZATION OF FACTORS
DETERMINING TRANSIENTS
IN DRILLING AND BLASTING
OPERATIONS***Abstract:*

The article presents the results of the analysis of the main influencing factors of the external and internal environment that determine the need for the implementation of transient processes to adapt to the prevailing conditions as the entire system of the mining enterprise and its individual subsystems. The analysis of factors was performed for the subsystem «drilling and blasting». For the scientific solution of the designated problem, a new methodological approach was applied by Prof. V.L. Yakovlev, Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences. Based on the performed analysis, the results of classification and systematization of the main factors determining the onset of transients in drilling and blasting operations are obtained and presented. The proposed approach made it possible to identify a holistic factors in the «drilling and blasting» subsystem. The application of the results of the systematization of the main factors provides a scientific basis for planning the innovative development of drilling and blasting operations and allows to predict the impact on the state of the «drilling and blasting» subsystem of changing factors of external and internal environment, including those related to the introduction of innovations.

Key words: mining, transient processes, system, «drilling and blasting» subsystem, influencing factors, systematization, drilling and blasting works, open-pit mining operations, destruction of rocks, parameters of drilling and blasting operations, innovations.

* Статья подготовлена по материалам исследований, выполненных в рамках Госзадания № 075-00581-19-00, тема № 0405-2019-0005.

Введение

Изменения сложившихся условий разработки сложноструктурных глубокозалегающих месторождений открытым способом создают предпосылки для снижения темпов роста производства продукции, увеличения затрат с понижением горных работ и возрастания риска возникновения аварий. Тем не менее стратегическое планирование и поддержание устойчивого функционирования горнодобывающего производства в изменяющихся условиях обуславливает необходимость осуществления переходных процессов в технологических процессах добычи полезных ископаемых, в том числе в буровзрывных работах (БВР) [1, 2]. Переходными процессами являются целенаправленные воздействия для успешного перевода системы в улучшенное состояние на основе информации о действующих факторах изменяющейся внутренней и внешней среды и взаимосвязей между факторами, параметрами планируемых к применению видов горной техники и параметрами технологии [3]. В ситуации, когда имеется большое разнообразие новаций в области техники и технологии БВР [4 – 8] и информационных средств [9 – 12], успешный выбор направлений повышения эффективности и уменьшения рисков возникновения ущерба достигается в результате комплексного и системного анализа природных, технологических, технических и экономических факторов и учета межфакторных связей для конкретных условий разрабатываемых месторождений полезных ископаемых. Оценка значимости факторов, выполненная на основе опыта и интуиции специалистов горных предприятий, напротив, может быть причиной неоправданного расхода материальных и финансовых ресурсов, увеличения аварийности и травматизма при осуществлении инновационного развития предприятия.

Воздействие внешних и внутренних факторов на показатели БВР

Применение методологического подхода, предложенного чл.-корр. РАН В.Л. Яковлевым [1, 2], позволяет представить технологию буровзрывных работ как подсистему, в которой совокупность используемых объектов производственной деятельности по буровзрывной подготовке горной массы к выемке является совокупностью элементов под-системы, обеспечивающих достижение единой цели – разрушения массива горных пород буровзрывным способом. Элементы подсистемы взаимосвязаны между собой особым образом, что необходимо учитывать при выборе и осуществлении переходных процессов. Элементами подсистемы являются буровые станки, буровой инструмент, смесительно-зарядное оборудование, массив горных пород, взрывчатые вещества, средства инициирования. Состояние подсистемы определяется прямым или опосредованным влиянием большого числа факторов. Систематизация действующих факторов в подсистеме «буровзрывные работы» позволит упорядочить взаимодействующие факторы и установить между ними повторяющиеся функциональные связи для планирования переходных процессов БВР как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе.

Факторы, вызывающие необходимость реализации переходных процессов в рассматриваемой подсистеме, с учетом [13 – 14] возможно разделить по типу источника возникновения на

- внешние (не зависящие от деятельности горнодобывающего предприятия);
- внутренние (зависимые от деятельности горнодобывающего предприятия).

Указанные внешние и внутренние факторы разделены на группы и представлены в табл. 1.

Изменения факторов внешней среды (цена и спрос на полезное ископаемое, инфляция, экономические кризисы) вызывают необходимость последовательного осуществления переходных процессов в технологии горных работ и организации производства. Внешние факторы не зависят от деятельности горного предприятия, но косвенно определяют номенклатуру применяемых материальных и энергетических ресурсов в процессах буровзрывных работ. Научно-технический прогресс определяет технический уровень применяемой буровой и смесительно-зарядной техники, этапы и про-

должительность перехода на новые модели буровых станков, бурового инструмента, смесительно-зарядной техники, а рыночные условия формируют прежде всего себестоимость буровых работ и выступают в роли ограничивающего фактора. Под влиянием факторов внутренней среды происходят изменения в состоянии элементов и параметрах процессов, протекающих в подсистеме «буровзрывные работы».

Таблица 1

Факторы, вызывающие необходимость осуществления переходных процессов в подсистеме «буровзрывные работы»

Группы факторов, вызывающих необходимость реализации переходных процессов	Факторы
Внешние, не зависящие от деятельности горнодобывающего предприятия	
Социально-экономические	Инфляция, социальная нестабильность, изменения налоговой системы, законодательства, кризисные явления; другие рыночные факторы, научно-технический прогресс
Горно-технологические	Горное давление, интенсивность добычи полезных ископаемых, проектные параметры карьера и рабочей зоны
Горно-геологические	Физико-механические, структурные (трещиноватость, техногенная нарушенность, прочность, блочность массива горных пород) и текстурные свойства горных пород, гидрологические условия массива горных пород, содержание ценного компонента в руде
Требования безопасности	Санитарно-гигиенические условия труда, требования действующего законодательства и регламентов в области промышленной безопасности
Внутренние, зависящие от деятельности горнодобывающего предприятия	
Управленческие	Достаточность конъюнктуры рынка, неэффективная система управления, состояние основных средств производства (буровое оборудование)
Технологические	Параметры технологии буровых работ (диаметр и длина скважин, сопротивление по подошве уступа, расстояния между скважинами в ряду и между рядами на блоке), режимы эксплуатации бурового оборудования, мощность оборудования, параметры конструкции буровой техники и инструмента; параметры и состояние рабочих площадок
Организационные	Разведанность запасов, своевременная подготовка блоков для бурения скважин, система технического обслуживания и ремонтов (своевременность и полнота проводимых ремонтных работ), объем вспомогательных работ (чистка скважин, дублирование скважин, переезды), полнота соблюдения инструкций по эксплуатации бурового оборудования и инструмента

Классификация внешних и внутренних факторов по отношению к оптимизируемым параметрам БВР

Для планирования рациональных переходных процессов буровзрывных работ необходимо понимать главные оптимизируемые параметры и степень влияния всех основных факторов подсистемы на оптимизируемые параметры. К главным оптимизируемым параметрам БВР относятся диаметр скважины, расположение скважин, ширина рабочих площадок, схема взрывания, ограничения по безопасному воздействию ударно-воздушной волны, сейсмического колебания на охраняемые объекты и законтурный массив, ограничения по разлету продуктов разрушения. На основе анализа результатов исследований [15 – 29] выполнена классификация внешних и внутренних факторов по отношению к оптимизируемым параметрам для буровых и взрывных работ.

В области исследования факторов, влияющих на процесс шарошечного бурения взрывных скважин, накоплен большой объем исследований [15 – 21]. В.Д. Буткин в работе [15] приводит сведения о влиянии более 15 факторов на процесс работы бурового долота, а на процесс работы бурового станка действуют дополнительно еще 27 факторов. С учетом основных результатов выполненных исследований совокупность внешних и внутренних факторов, действующих на процесс бурения технологических скважин, разделена на независимые и управляемые:

- К независимым факторам относятся внешние факторы, влияние которых практически невозможно исключить, например, изменение тарифов на электроэнергию, снижение спроса на полезное ископаемое по причине перенасыщенности рынка, свойства горных пород (крепость горных пород по шкале проф. М.М. Протодяконова, контактная прочность, абразивность, плотность буримых пород, обводненность горного массива, анизотропия, перемежаемость горных пород в массиве), экономические факторы, научно-технический прогресс.

- К управляемым факторам можно отнести технические – конструктивные параметры бурового инструмента и станка, параметры режима бурения (осевая нагрузка, крутящий момент, частота вращения, расход сжатого воздуха), надежность буровой техники, срок службы бурового станка; технологические – диаметр и длина скважин, сопротивление по подошве уступа, расстояния между скважинами в ряду и между рядами на блоке, параметры и состояние рабочих площадок; организационные – время смены, своевременность и полнота проводимых ремонтных работ, объем вспомогательных работ (чистка скважин, дублирование скважин, переезды), уровень сервисного обслуживания, полнота соблюдения инструкций по эксплуатации бурового инструмента.

Механизм действия указанных факторов сложен, и установить связь между всеми указанными видами действующих факторов до сих пор не удалось. Фрагментарные результаты заключаются в установленных аналитических и экспериментальных зависимостях между отдельными факторами. Поэтому процесс бурения технологических скважин часто представляют в упрощенном виде, что приводит к ошибкам в выборе решений при планировании внедрения инноваций.

Эффективное использование энергии взрыва при подготовке горной массы к выемке зависит от выбора рациональных параметров БВР для конкретных условий разработки месторождений, от свойств массива и слагающих его горных пород, от требований к качеству взорванной горной массы. Выполненные исследования в области разрушения массива горных пород [22 – 29] взрывным способом позволяют классифицировать основные внешние и внутренние факторы, влияющие на процесс взрывного разрушения горных пород, на независимые и управляемые.

К независимым внешним факторам относятся природные факторы (трещиноватость, средний размер отдельностей в массиве, блочность, обводненность), научно-технический прогресс, экономические факторы, стоимость энергоресурсов, взрывчатых веществ и материалов.

К управляемым факторам относятся свойства взрывчатых веществ (ВВ) и средств инициирования; состояние и параметры смесительно-зарядных машин и надежность их деталей; технологические параметры буровзрывных работ (диаметр скважин, расположение скважин на блоке, расстояния между скважинами в рядах и между рядами, интервал замедления, удельный расход ВВ); требования к крупности дробления и условия взрывания (влияние подпорной стенки, свободной поверхности, техногенной нарушенности массива от предыдущих взрывов).

Результаты исследований

Систематизация факторов, представленная на рис. 1, учитывает устойчивые повторяющиеся взаимосвязи между оптимизируемыми параметрами, независимыми и управляемыми факторами для последующего изыскания направлений инновационного развития технологии БВР и планирования переходных процессов, повышающих эффективность нововведений в буровзрывных работах.

Учет специалистами горнодобывающих предприятий результатов систематизации факторов обеспечивает научную основу при изыскании способов перевода подсистемы «буровзрывные работы» в улучшенное состояние по следующим критериям: производительности буровых станков, энергоемкости буровых работ, уровню промышленной безопасности, гранулометрическому составу взорванной горной массы.

Согласно представленным данным (см. рис. 1), выбор инновационного бурового станка с необходимой производительностью и энергоемкостью бурения взрывных скважин зависит, в первую очередь, от проектного диаметра скважин, определяемого физико-механическими свойствами и трещиноватостью массива горных пород. С другой стороны, учитывая информацию о реальном состоянии массива горных пород, необходимо выбрать рациональные технические параметры нового бурового станка, соответствующего финансовым возможностям горного предприятия и уровню научно-технического прогресса, а именно – мощность основных двигателей; типоразмер и модель бурового инструмента; способ бурения (модель станка); режим бурения. Внедрение в производство нового бурового станка будет означать пересмотр организации технического обслуживания и ремонтов, определяющей надежностью оборудования. Вместе с тем при управлении режимом бурения необходимо учитывать степень техногенной нарушенности массива от предыдущих взрывных работ, влияющей на устойчивость стенок скважин и, как следствие, на объем вспомогательных буровых работ. Техногенная нарушенность управляется такими факторами, как удельный расход, тип ВВ и СИ, конструкция заряда, интервалы замедления. Качество гранулометрического состава взорванной горной массы (см. рис.1) определяется удельным расходом ВВ, зависящим от проектного диаметра скважины, физико-механических свойств, трещиноватости, обводненности массива горных пород, типа ВВ. Выбор типа ВВ управляется рыночными факторами, научно-техническим прогрессом, изменением по глубине горного давления и заданными ограничениями на оптимизируемые параметры БВР. При этом необходимо учитывать, что изменение типа ВВ влияет на конструкцию заряда и на интервалы замедления.

Таким образом, опираясь на систематизированные данные о влиянии изменяющихся факторах, влияющих на состояние подсистемы «буровзрывные работы», возможно заблаговременно предусмотреть рациональные переходные процессы, снижающие негативное проявление исследованных факторов, в том числе связанных с внедрением инноваций.

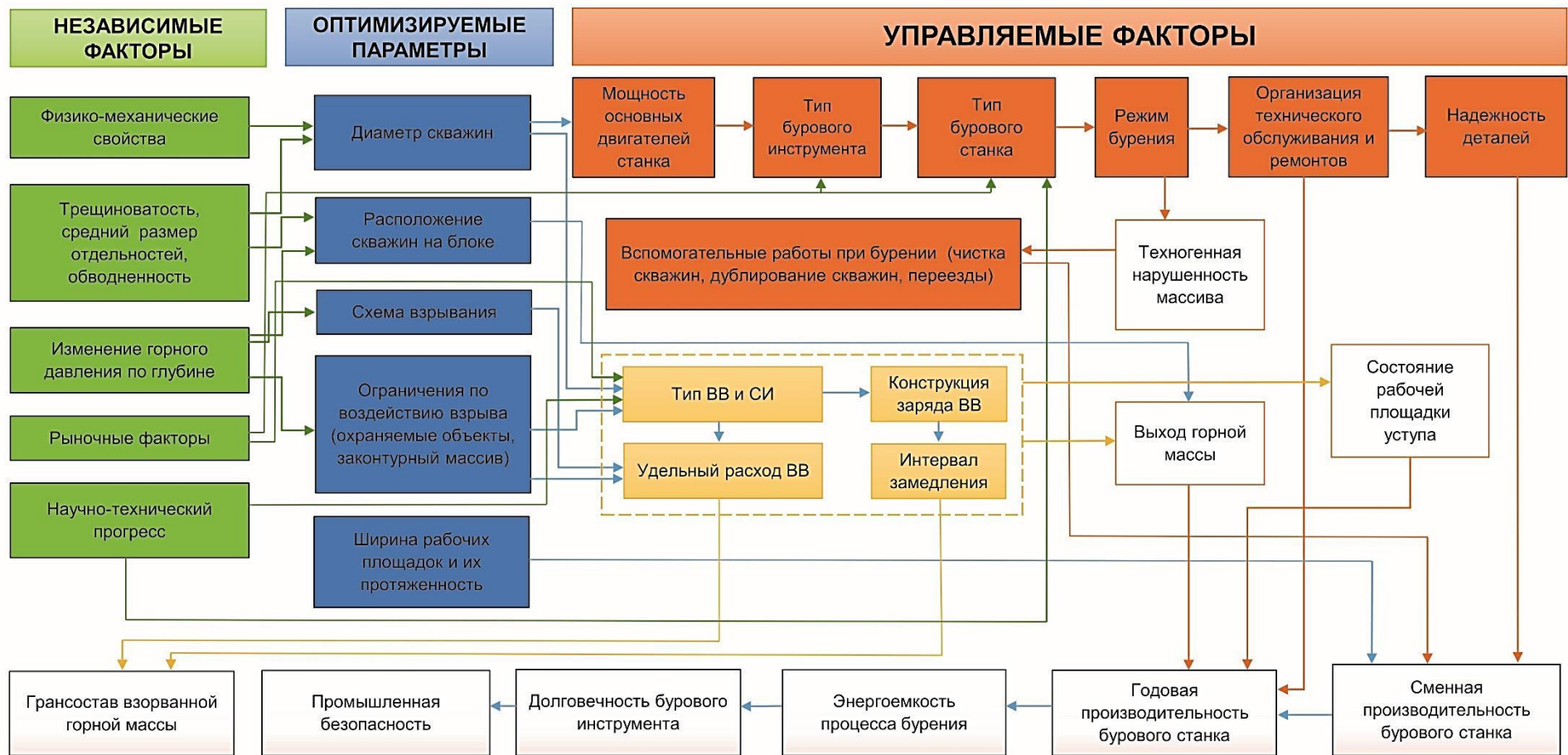


Рис.1. Систематизация основных факторов, предопределяющих необходимость реализации переходных процессов в буровзрывных работах

Выводы

В результате выполненных исследований факторы, влияющие на функционирование подсистемы «буровзрывные работы», разделены на внешние и внутренние. Изменения факторов внешней среды носят ограничивающий характер. Например, спрос и цены на полезное ископаемое, инфляция косвенно определяют требования к удельному расходу, типу используемых материальных и энергетических ресурсов при буровзрывных работах, уровень технического совершенства применяемой техники, этапы и продолжительность перехода на новые модели буровых станков. Действие внутренних факторов определяет напрямую уровень используемых резервов работающего оборудования, качество взорванной горной массы и в целом эффективность и безопасность БВР.

Классификация основных внешних и внутренних факторов подсистемы «буровзрывные работы» по отношению к оптимизируемым параметрам БВР позволила выявить две основные их группы – независимые и управляемые. К независимым факторам относятся внешние факторы, влияние которых практически невозможно исключить, например, изменение тарифов на электроэнергию, снижение спроса на полезное ископаемое по причине перенасыщенности рынка, ужесточение налоговой политики государства и другое. К управляемым факторам можно отнести, например, технические параметры оборудования, бурового инструмента и режимы эксплуатации, удельный расход взрывчатых веществ, тип взрывчатых веществ и средств инициирования, конструкцию заряда, интервал замедления.

На основе выполненной классификации систематизированы основные факторы, предопределяющие необходимость реализации переходных процессов в буровзрывных работах при освоении сложноструктурных глубокозалегающих месторождений. Систематизация обеспечивает системный анализ влияния изменяющихся факторов внешней и внутренней среды и учет основных межфакторных связей для планирования переходных процессов, повышающих эффективность внедрения инноваций и предотвращающих негативные явления при изменении условий ведения буровзрывных работ.

Список литературы

1. Яковлев В.Л., 2019. *Исследование переходных процессов – новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов*. Екатеринбург: УрО РАН, 284 с.
2. Яковлев В.Л., 2020. О методологии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых для разработки стратегии развития минерально-сырьевой базы России. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 7, С. 5 - 20. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-5-20
3. Реготунов А.С., Жариков С.Н., Сухов Р.И., Кутуев В.А., 2021. Оценка современного состояния буровзрывных работ и необходимость осуществления переходных процессов на некоторых крупных горных предприятиях Урала и Сибири. *Проблемы недропользования*, № 2, С. 52 – 62. DOI: 10.25635/2313-1586.2021.02.052.
4. Кутуев В.А, Флягин А.С., Жариков С.Н., 2021. Исследование детонационных характеристик ПЭВВ НПГМ с различными исходными компонентами эмульсии при инициировании зарядов разными промежуточными детонаторами. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*, № 3, С. 175 - 187. DOI: 10.46689/2218-5194-2021-3-1-169-181.
5. Zharikov S.N., Kutuev V.A., 2021. Impact of blasting on pit wall rock mass. *IOP Conferences Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 773, pp. 012060, DOI: 10.1088/1755-1315/773/1/012060.

6. Котяшев А.А., 2020. Экспериментальная оценка свойств и характеристик эмульсионных ВВ, изготовленных вблизи мест их применения. *Проблемы недропользования*, № 4, С. 42 - 51. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.04.042.
7. Меньшиков П.В., Таранжин С.С., Флягин А.С., 2019. Применение предохранительных укрытий из шин автосамосвалов при ведении взрывных работ на Карагайском карьере. *Проблемы недропользования*, № 2, С. 27 - 33. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.02.027.
8. Жариков С.Н., Меньшиков П.В., Кутуев В.А., Таранжин С.С., 2020. Научное обеспечение производства особо ответственных видов взрывных работ на основе опыта лаборатории разрушения горных пород. *Проблемы недропользования*, № 1, С. 66 - 79. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.01.066.
9. Regotunov A.S., Sukhov R.I., 2018. Simulation and study of strength properties of rocks by measuring characteristics during the blast holes drilling. *Problems of complex development of georesources (PCDG 2018)*, Vol. 56, pp. 01002, DOI: doi.org/10.1051/e3sconf/20185601002.
10. Vít'azoslav Krúpa, Mária Krul'áková, Edita Lazarová, Milan Labaš, Katarína Feriančíková, Lucia Ivaničová, 2018. Measurement, modeling and prediction of penetration depth in rotary drilling of rocks. *Measurement*, Vol. 117, P. 165 - 175.
11. Camargo L.F.R., Henrique L., Pacheco D. and Sartori F., 2018. A method for integrated process simulation in the mining industry. *European Journal of Operational Research*, Vol. 264, No. 3, pp. 1116 - 1129. DOI: 10.1016/j.ejor.2017.07.013.
12. Яковлев В.Л., Осипова И.А., 2020. Переходные процессы при отработке угольного месторождения в свете интеллектуального управления. *Известия Уральского государственного горного университета*, № 4, С. 166 - 172. DOI: 10.21440/2307-2091-2020-4-166-172.
13. Лель Ю.И., Сандригайло И.Н., Терёхин Е.Ю, Ворошилов Г.А., 2000. Горно-геологические и горнотехнические условия разработки глубоких карьеров. *Известия УГГА. Серия: Горное дело*, № 11, С. 77 - 85.
14. Астахов А.С., Каменецкий Л.Е., Чернегов Ю.А., 1982. *Экономика горной промышленности*. Москва: Недра, 408 с.
15. Буткин В.Д., Гилев А.В. и др., 2010. *Выбор и рациональная эксплуатация буровых инструментов и станков на карьерах*. Красноярск: СФУ, 236 с.
16. Симкин Б.А., 1990. *Справочник по бурению на карьерах*. Москва: Недра, 224 с.
17. Крюков Г.М., 2004. *Физика разрушения горных пород при бурении и взрывании. Часть II. Разрушение горных пород при бурении*. Москва: Изд-во МГГУ, 106 с.
18. Шрейнер Л.А., 1950. *Физические основы механики горных пород*. Москва: Гостоптехиздат, 246 с.
19. Воздвиженский Б.И., Мельничук И.П., Пешалов Ю.А., 1973. *Физико-механические свойства горных пород и влияние их на эффективность бурения*. Москва: Недра, 240 с.
20. Федоров В.С., 1951. *Научные основы режимов бурения*. Москва: Гостоптехиздат, 248 с.
21. Реготунов А.С., Сухов Р.И., Худяков А.Г., Болкисева Ю.В., 2010. Влияние срока службы бурового станка на эффективность бурения скважин. *Изв. вузов. Горный журнал*, № 4, С. 61 - 64.
22. Кутузов Б.Н., 1973. *Взрывное и механическое разрушение горных пород*. Москва: Недра, 312 с.
23. Демидюк Г.П., 1960. О механизме действия взрыва и свойствах взрывчатых веществ. *Взрывное дело*, № 45/2, С. 20 - 35.

24. Крюков Г.М., 2012. Модель взрывного рыхления горных пород на карьерах. Выход негабарита. Средний размер кусков породы в развале: *Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельные статьи*. Москва: Изд-во «Горная книга», 30 с.
25. Мосинец В.Н., 1976. *Дробящее и сейсмическое действие взрывов в горных породах*. Москва: Недра, 271 с.
26. Жариков С.Н., Кутуев В.А., 2017. Схемы инициирования зарядов для обеспечения высокопроизводительной работы циклического звена ЦПТ. *Известия Уральского государственного горного университета*, № 3, С. 76 - 79.
27. Антипин Ю.Г., Барановский К.В., Рожков А.А., 2020. Обоснование параметров встречного взрывания в нарушенных массивах вторичных камер при системах с закладкой. *Проблемы недропользования*, № 3, С. 23 - 30. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.03.023.
28. Жариков С.Н., Кутуев В.А., 2020. Анализ сейсмического эффекта в различных породах и грунтовых условиях. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 12, С. 44 - 53. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-44-53.
29. Жариков С.Н., Кутуев В.А., 2020. Построение номограммы для определения параметров БВР в приконтурной зоне карьера. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*, № 3, С. 161 - 171. DOI: 10.25635/r0915-0037-0746-z

References

1. Yakovlev V.L., 2019. *Issledovanie perekhodnykh protsessov – novoe napravlenie v razvitiy metodologii kompleksnogo osvoeniya georesursov* [Study of transients as a new direction in the evolvement of the methodology of complex development of geological resources]. Ekaterinburg: UrO RAN, 284 p
2. Yakovlev V.L., 2020. *O metodologii kompleksnogo osvoeniya zapasov mestorozhdenii tverdykh poleznykh iskopaemykh dlya razrabotki strategii razvitiya mine-ral'no-syr'evoi bazy Rossii* [On the methodology of complex development of reserves of solid mineral deposits for the evolution of a strategy for the development of the mineral resource base of Russia]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*, № 7, P. 5 - 20. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-5-20
3. Regotunov A.S., Zharikov S.N., Sukhov R.I., Kutuev V.A., 2021. *Otsenka sovremennogo sostoyaniya burovzryvnykh rabot i neobkhodimost' osushchestvleniya perekhodnykh protsessov na nekotorykh krupnykh gornyykh predpriyatiyakh Urala i Sibiri* [Assessment of the current state of drilling and blasting operations and the need to implement transition processes at some large mining enterprises of the Urals and Siberia]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 2, P. 52 – 62. DOI: 10.25635/2313-1586.2021.02.052.
4. Kutuev V.A., Flyagin A.S., Zharikov S.N., 2021. *Issledovanie detonatsionnykh kharakteristik PEVV NPGM s razlichnymi iskhodnymi komponentami emul'sii pri initsirovaniy zaryadov raznymi promezhutochnymi detonatorami* [Research of detonation characteristics of NPGM industrial emulsion explosive with different initial components of the emulsion when charges initiated by different intermediate detonators]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, № 3, P. 175 - 187. DOI: 10.46689/2218-5194-2021-3-1-169-181.
5. Zharikov S.N., Kutuev V.A., 2021. Impact of blasting on pit wall rock mass. IOP Conferences Series: Earth and Environmental Science, Vol. 773, pp. 012060, DOI: 10.1088/1755-1315/773/1/012060.
6. Kotyashev A.A., 2020. *Eksperimental'naya otsenka svoistv i kharakteristik emul'sionnykh VV, izgotovlennykh vblizi mest ikh primeneniya* [Experimental evaluation of the properties and characteristics of emulsion explosives manufactured near their application sites]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 4, P. 42 - 51. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.04.042.
7. Men'shikov P.V., Taranzhin S.S., Flyagin A.S., 2019. *Primenenie predokhranitel'nykh ukrytii iz shin avtosamosvalov pri vedenii vzryvnykh rabot na Karagaiskom*

kar'ere [Use of safety shelters made of dump truck tires during blasting operations at the Karagai open pit]. Problemy nedropol'zovaniya, № 2, P. 27 - 33. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.02.027.

8. Zharikov S.N., Men'shikov P.V., Kutuev V.A., Taranzhin S.S., 2020. *Nauchnoe obespechenie proizvodstva osobo otvetstvennykh vidov vzryvnykh работ na osnove opyta laboratorii razrusheniya gornykh porod* [Scientific support for the production of particularly responsible types of blasting operations based on the experience of a rock destruction laboratory]. Problemy nedropol'zovaniya, № 1, P. 66 - 79. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.01.066.

9. Regotunov A.S., Sukhov R.I., 2018. Simulation and study of strength properties of rocks by measuring characteristics during the blast holes drilling. Problems of complex development of georesources (PCDG 2018), Vol. 56, pp. 01002, DOI: doi.org/10.1051/e3sconf/20185601002.

10. Vít'azoslav Krúpa, Mária Krul'áková, Edita Lazarová, Milan Labaš, Katarína Feri-ančíková, Lucia Ivaničová, 2018. Measurement, modeling and prediction of penetration depth in rotary drilling of rocks. Measurement, Vol. 117, R. 165 - 175.

11. Camargo L.F.R., Henrique L., Pacheco D. and Sartori F., 2018. A method for integrated process simulation in the mining industry. European Journal of Operational Research, Vol. 264, No. 3, pp. 1116 - 1129. DOI: 10.1016/j.ejor.2017.07.013.

12. Yakovlev V.L., Osipova I.A., 2020. *Perekhodnye protsessy pri otrabotke ugol'nogo mestorozhdeniya v svete intellektual'nogo upravleniya* [Transients during the mining of a coal deposit in terms of intelligent management]. Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta, № 4, P. 166 - 172. DOI: 10.21440/2307-2091-2020-4-166-172.

13. Lel' Yu.I., Sandrigailo I.N., Terekhin E.Yu., Voroshilov G.A., 2000. *Gorno-geologicheskie i gornotekhnicheskie usloviya razrabotki glubokikh kar'erov* [Mining-geological and mining-engineering conditions for the development of deep open pits]. Izvestiya UGGGA. Seriya: Gornoe delo, № 11, P. 77 - 85.

14. Astakhov A.S., Kamenetskii L.E., Chernegov Yu.A., 1982. *Ekonomika gornoj promyshlennosti* [Economics of the mining industry]. Moscow: Nedra, 408 p.

15. Butkin V.D., Gilev A.V. i dr., 2010. *Vybor i ratsional'naya ekspluatatsiya burovnykh instrumentov i stankov na kar'erakh* [Selection and rational operation of drilling tools and machines in open pits]. Krasnoyarsk: SFU, 236 p.

16. Simkin B.A., 1990. *Spravochnik po bureniyu na kar'erakh* [Handbook of drilling at open pits]. Moscow: Nedra, 224 s.

17. Kryukov G.M., 2004. *Fizika razrusheniya gornykh porod pri burenii i vzryvanii. Chast' II. Razrushenie gornykh porod pri burenii* [Physics of rock destruction during drilling and blasting. Part II. Destruction of rocks during drilling]. Moscow: Izd-vo MGGU, 106 p.

18. Shreiner L.A., 1950. *Fizicheskie osnovy mekhaniki gornykh porod* [Physical foundations of rock mechanics]. Moscow: Gostoptekhizdat, 246 p.

19. Vozdvizhenskii B.I., Mel'nichuk I.P., Peshalov Yu.A., 1973. *Fiziko-mekhanicheskie svoystva gornykh porod i vliyanie ikh na effektivnost' bureniya* [Physical and mechanical properties of rocks and their influence on drilling efficiency]. Moscow: Nedra, 240 p.

20. Fedorov V.S., 1951. *Nauchnye osnovy rezhimov bureniya* [Scientific foundations of drilling modes]. Moscow: Gostoptekhizdat, 248 p.

21. Regotunov A.S., Sukhov R.I., Khudyakov A.G., Bolkiseva Yu.V., 2010. *Vliyanie sroka sluzhby burovogo stanka na effektivnost' bureniya skvazhin* [Influence of the service life of a drilling machine on the efficiency of drilling wells]. Izv. vuzov. Gornyi zhurnal, № 4, P. 61 - 64.

22. Kutuzov B.N., 1973. *Vzryvnoe i mekhanicheskoe razrushenie gornykh porod* [Explosive and mechanical destruction of rocks]. Moscow: Nedra, 312 p.

23. Demidyuk G.P., 1960. *O mekhanizme deistviya vzryva i svoistvakh vzryvchatykh veshchestv* [On the mechanism of the explosion action and the properties of explosives]. *Vzryvnoe delo*, № 45/2, P. 20 - 35.

24. Kryukov G.M., 2012. *Model' vzryvnogo rykhleniya gornykh porod na kar'erakh. Vykhod negabarita. Srednii razmer kuskov породы v razvale* [A model of explosive loosening of rocks at open pits. Oversized output. Average size of pieces of the rock in fragmental debris]: *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. Otdel'nye stat'i. Moscow: Izd-vo "Gornaya kniga", 30 p.

25. Mosinets V.N., 1976. *Drobyashchee i seismicheskoe deistvie vzryvov v gornykh porodakh* [Crushing and seismic action of explosions in rock masses]. Moscow: Nedra, 271 p.

26. Zharikov S.N., Kutuev V.A., 2017. *Skhemy initsirovaniya zaryadov dlya obespecheniya vysokoproizvoditel'noi raboty tsiklichnogo zvena TsPT* [Charge initiation schemes to ensure high-performance operation of the cyclic link of IPCC]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*, № 3, P. 76 - 79.

27. Antipin Yu.G., Baranovskii K.V., Rozhkov A.A., 2020. *Obosnovanie parametrov vstrechnogo vzryvaniya v narushennykh massivakh vtorichnykh kamer pri sistemakh s zakladkoi* [Justification of the parameters of oncoming detonation in disturbed arrays of secondary chambers in systems with stowing]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 3, P. 23 - 30. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.03.023.

28. Zharikov S.N., Kutuev V.A., 2020. *Analiz seismicheskogo effekta v razlichnykh porodakh i gruntovykh usloviyakh* [Analysis of the seismic effect in various rocks and ground conditions]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 12, P. 44 - 53. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-44-53.

29. Zharikov S.N., Kutuev V.A., 2020. *Postroenie nomogrammy dlya opredeleniya parametrov BVR v prikonturnoi zone kar'era* [Construction of the nomogram to determine the parameters of drilling and blasting operations in the contour zone of a quarry]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, № 3, S. 161 - 171. DOI: 10.25635/r0915-0037-0746-z